

УДК 621.923

Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО РЕЛЬЕФА С ШЕРОХОВАТОСТЬЮ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Отримано взаємопов'язані з параметрами рельєфу алмазного круга аналітичні вираження шорсткості та продуктивності обробки. Практичне застосування розрахункового підходу можливо при забезпеченні стійкості параметрів рельєфу інструменту в умовах алмазно-іскрового шліфування з керуванням електричними режимами їх стабільної реновації за рахунок підтримки темпу ерозійного руйнування зв'язки електричними розрядами, погодженого з контактним зносом ріжучих зерен.

Получены взаимосвязанные с параметрами рельефа алмазного круга аналитические выражения шероховатости и производительности обработки. Практическое применение расчетного подхода возможно при обеспечении устойчивости параметров рельефа инструмента в условиях алмазно-искрового шлифования с управлением электрическими режимами их стабильной реновации за счет поддержания темпа эрозионного разрушения связки электрическими разрядами, согласованного с контактным износом режущих зерен.

The analytical relationships of roughness and processing performance related to the parameters of the diamond wheel relief are received. Practical application of the computational approach is possible with the sustainability parameters of the instrument relief under a diamond- spark grinding with control of electric mode of their stable renovating by maintaining the rate of bond erosion damage under electrical discharges agreed with the contact wear of the cutting grains.

Введение. Практика использования технологий алмазно-искрового шлифования (АИШ) и электроэрозионной правки инструмента, основанных на введении в зону шлифования (правки) дополнительной электрической энергии в форме электрических разрядов [1] свидетельствует о возможностях эффективного разрешения противоречий между режущей способностью алмазных кругов на металлических связках, прочностью этих связок, производительными возможностями и экономикой процесса шлифования. На рис. 1 показан типичный пример реализации различных способов обработки в идентичных кинематико-геометрических условиях на операциях внутреннего шлифования подшипниковой стали ШХ15, твёрдого сплава ВК15 и магнитотвёрдого сплава ЮНДК24Т2 [2].

К важнейшим преимуществам алмазно-искровой обработки перед обычной относится снижение энергоёмкости собственно шлифования и повышение энергоотдачи работы стружкообразования. На рис. 2 показан характерный пример сопоставления удельной энергоёмкости и производительности алмазного и алмазно-искрового круглого шлифования от продолжительности обработки в идентичных механических условиях,

обрабатываемый материал – теплостойкая наплавка марки 3Х2В8, расчетная (режимная) производительность – 100 % [3]. Условия АИШ соответствуют обработке восстановленного наплавкой вала штрипсового стана «300» металлургического комбината «Криворожсталь» (объем снимаемого материала примерно 2000 см³). Сборная конструкция инструмента большого диаметра (в условиях комбината использовался алмазный шлифовальный круг типоразмерной характеристики 1А1 800х90х5х305) разработана в ИСМ НАН Украины специально для шлифования крупногабаритных деталей типа валков прокатных станов и им подобных [4].

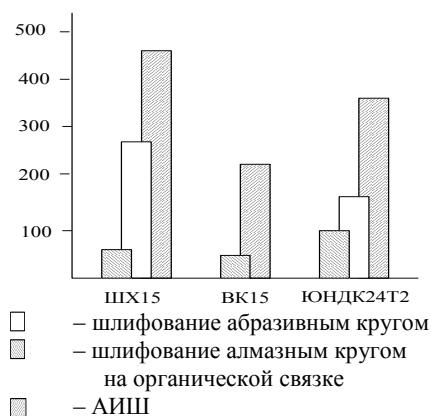


Рисунок 1 – Изменение производительности обработки для различных способов шлифования, мм³/мин



Рисунок 2 – Зависимость W_y и Q алмазного шлифования и АИШ от продолжительности обработки

Варьирование высотными параметрами режущего рельефа круга данной характеристики при АИШ с обеспечением их устойчивости позволяет добиваться и улучшенной шероховатости обработанной поверхности при работе инструментом с повышенным притуплением режущих зерен в условиях с умеренным темпом принудительного изнашивания связки, и повышенной производительности обработки при работе инструментом с умеренным притуплением режущих зерен в условиях с повышенным темпом принудительного изнашивания связки [5, 6]. Получение взаимосвязанных с параметрами рельефа алмазного круга аналитических выражений шероховатости и производительности обработки, удобных практическому технологу для определения доступных в реальных условиях путей эффективного решения заданий на механическую обработку, является важной задачей поддержки современных гибких машиностроительных производств.

Основная часть. Для выполнения поставленной задачи избирательно в ее контексте воспользуемся структурированной логистикой выкладок и обобщений по [7] в части математического моделирования устойчивого во времени процесса алмазного шлифования и теоретических исследований технологических возможностей повышения эффективности алмазного шлифования.

Сначала определим параметр шероховатости обработки R_{max} с учетом условия стабилизации режущего рельефа круга. Для этого воспользуемся условием равенства R_{max} , максимальной (вероятностной) толщины среза H_{max} и глубины шлифования t , приведенным в работе [8]:

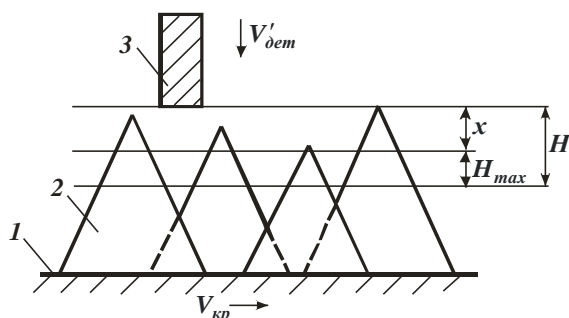
$$R_{max} = H_{max} = t \quad (1)$$

где параметр H_{max} определяется из расчетной схемы по рис. 3 зависимостью:

$$H_{max} = (1 - \eta) \cdot H, \quad (2)$$

где H – максимальная глубина внедрения обрабатываемого материала в рабочую поверхность круга, отсчитывая ее от вершины исходного (неизношенного) максимально выступающего над уровнем связки зерна, м; $\eta = x / H$ – безразмерный коэффициент, учитывающий степень затупления зерна ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна); x – величина линейного износа максимально выступающего над уровнем связки зерна, м.

Приведение здесь расчетной схемы параметров шлифования (рис. 3) восполняет методическую недостаточность предыдущего обращения к этой же задаче [9].



1 – связка круга; 2 – алмазное зерно; 3 – обрабатываемый образец

Рисунок 3 – Расчетная схема параметров шлифования

Параметры H и η могут быть представлены в виде:

$$H = \{(9 \cdot b \cdot V'_{\text{дет}}) / [tg \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}} (1 - \eta^2)]\}^{1/3}, \quad (3)$$

$$\eta = [1 - (k^2 \cdot V_{\text{кр}}^2 \cdot S_{\text{пред}}^3) / (81 \cdot tg \gamma \cdot b^2 \cdot V_{\text{дет}}^2)]^{1/2}, \quad (4)$$

где b – максимальная высота выступания зерен над уровнем связки круга, m ; k – поверхностная концентрация зерен круга, $шт/м^2$; 2γ – угол при вершине конусообразного режущего зерна; $S_{\text{пред}}$ – предельная площадь поперечного сечения среза отдельным зерном круга, обусловленная собственно прочностью зерна или прочностью его удержания в связке круга (в зависимости от типа связки и механизма износа алмазного круга), $м^2$; $V_{\text{кр}}$ – скорость круга, $м/с$; $V'_{\text{дет}}$ – скорость подачи обрабатываемого прямолинейного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга, $м/с$.

После соответствующих преобразований (1) имеем

$$R_{\text{max}} = \{[(1 - \eta)^4 / (1 + \eta)^2] \cdot (18 \cdot 10^4 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X}^6 \cdot V_{\text{дет}}^2 \cdot \rho) / (tg^2 \gamma \cdot k^2 \cdot V_{\text{кр}}^2)\}^{1/5}, \quad (5)$$

где \bar{X} – зернистость круга, $м$; m – объемная концентрация зерен круга; $\rho = (1/R_{\text{кр}}) + (1/R_{\text{дет}})$; $R_{\text{кр}}$, $R_{\text{дет}}$ – соответственно радиусы круга и детали, $м$.

В зависимости (5) входит безразмерная величина $[(1 - \eta)^4 / (1 + \eta)^2]^{1/5}$, которая определяет степень износа (сглаженность) режущего рельефа алмазного круга. С увеличением безразмерного коэффициента η параметр шероховатости обработки R_{max} уменьшается.

Преобразуем зависимость (4) путем выражения параметра $S_{\text{пред}}$ через силу резания, действующую на отдельное зерно круга. Будем считать, что объемное разрушение зерна или его выпадение из связки без разрушения (в зависимости от прочности удержания зерна в связке) происходит от действия радиальной составляющей силы резания P_{y1} , действующей на зерно, так как $P_{y1} > P_{z1}$, где P_{z1} – тангенциальная составляющая силы резания, действующая на зерно. Как показано в работе [10], в этом случае

$$S_{\text{пред}} = (P_{y1} / 2 \sigma_{\text{сж}}) \cdot (1 - \eta), \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, $H/м^2$.

С использованием (6) зависимости (4), (3) и (2) соответственно примут вид [11]:

$$\eta = 1 - [(9 \cdot b \cdot V'_{\text{дет}}) / (tg \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}})] \cdot (2 \sigma_{\text{сж}} / P_{y1})^{1/2}, \quad (7)$$

$$H = (P_{y1} / 2 \sigma_{\text{сж}})^{1/2}, \quad (8)$$

$$H_{\text{max}} = [(9 \cdot b \cdot V'_{\text{дет}}) / (tg \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}})] \cdot (2 \sigma_{\text{сж}} / P_{y1}). \quad (9)$$

Применительно к круглому наружному (плоскому) шлифованию, преобразуем зависимость (7) с учетом известного соотношения [12]: $V_{\text{дет}} = V_{\text{дет}} \cdot (2 \cdot t \cdot \rho)^{1/2}$, а также соотношений [13]: $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}$; $k = 3m \cdot (1 - \varepsilon) / (200\pi \cdot \bar{X}^2)$, где $(1 - \varepsilon)$ – коэффициент, учитывающий степень выступания зерен над уровнем связки; $V_{\text{дет}}$ – скорость детали, м/с.

Тогда

$$\eta = 1 - [600\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{\text{дет}} \cdot (2 \cdot t \cdot \rho)^{1/2} / (tg \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}})] \cdot (2\sigma_{\text{сж}} / P_{y1})^{1/2}, \quad (10)$$

Подставим в зависимость (5) зависимость (10), пренебрегая множителем $(1 + \eta) \approx 1$:

$$R_{\text{max}} = \{[600\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{\text{дет}} \cdot (2 \cdot \rho)^{1/2} \cdot (2\sigma_{\text{сж}} / P_{y1}) / (tg \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}})]^6 \cdot t^2\}^{1/5}. \quad (11)$$

Как видим, при условии стабилизации режущего рельефа алмазного круга влияние параметров \bar{X} , m , $V_{\text{дет}}$, $V_{\text{кр}}$, ρ на параметр шероховатости обработки R_{max} усиливается. Имеет место увеличение R_{max} с увеличением глубины шлифования t . Следовательно, изменение параметров режущего рельефа круга ведет к существенному изменению шероховатости обработанной поверхности.

Рассмотрим влияние механизма износа круга на параметры его режущего рельефа.

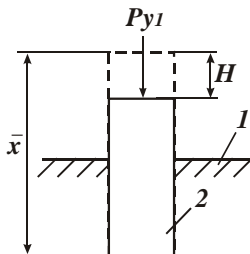
Приведенные выше аналитические зависимости справедливы для условий: $b \geq H$ и $P_{y1} = P$, где P – сила, при которой происходит разрушение (раздавливание) режущего зерна. Если из расчетов вытекает, что $H > b$, то предельное значение радиальной составляющей силы резания P_{y1} , действующей на отдельное зерно, будет меньше P и равно силе, удерживающей зерно в связке. В этом случае объемное разрушение зерен не произойдет, зерна будут выпадать из связки под действием силы $P_{y1} < P$.

Рассмотрим условие устойчивости зерна в связке от действия радиальной составляющей силы резания P_{y1} , действующей на отдельное зерно.

Радиальная составляющая силы резания P_{y1} , действующая на отдельное зерно, условно определяется (рис. 4)

$$P_{y1} = a \cdot (\bar{X} - H), \quad (12)$$

где a – размерный коэффициент, зависящий от прочности связки круга (чем прочнее связка, тем больше коэффициент a).



1 – связка круга; 2 – режущее зерно

Рисунок 4 – Расчетная схема устойчивости зерна в связке

Из зависимости (12) следует, что с увеличением параметра $H = b$ (вследствие уменьшения глубины залегания зерна в связке круга) радиальная составляющая силы резания P_{y1} , действующая на отдельное зерно, уменьшается.

Подставим зависимость (12) в зависимость (8):

$$H^2 + (a / 2 \sigma_{сж}) \cdot H - (a \cdot \bar{X}) / 2 \sigma_{сж} = 0. \quad (13)$$

После несложных преобразований приходим к квадратному уравнению относительно неизвестной величины H .

Решение уравнения имеет вид:

$$H = \bar{X} / [1/2 + (1/4 + 2 \sigma_{сж} \cdot \bar{X} / a)^{1/2}]. \quad (14)$$

Знаменатель зависимости (14) больше единицы, поэтому $H < \bar{X}$. Чем больше предел прочности на сжатие обрабатываемого материала $\sigma_{сж}$ и меньше коэффициент a , тем меньше величина H . Следовательно, с уменьшением прочности удержания зерна в связке величина $H = b$ уменьшается.

Подставим зависимость (14) в зависимость (12). После преобразований имеем

$$P_{y1} = 2 \sigma_{сж} \cdot \bar{X} / [1/2 + (1/4 + 2 \sigma_{сж} \cdot \bar{X} / a)^{1/2}]. \quad (15)$$

Нетрудно видеть, что с увеличением параметров $\sigma_{сж}$, \bar{X} и a радиальная составляющая силы резания P_{y1} , действующая на отдельное зерно, увеличивается.

Из зависимостей (7) и (9) следует, что с увеличением P_{y1} безразмерный коэффициент η увеличивается, а H_{max} уменьшается. Следовательно,

с увеличением прочности удержания зерна в связке (с увеличением коэффициента a) максимальная (вероятностная) толщина среза H_{max} уменьшается, а безразмерный коэффициент η увеличивается (режущий рельеф круга становится более сглаженным).

Как видим, все основные параметры шлифования (в случае, когда в механизме износа круга преобладает выпадение зерен из связки без их объемного разрушения) определяются прочностными свойствами связки круга и обрабатываемого материала, а также зернистостью круга \bar{X} .

Выразим в зависимости (14) параметр H зависимостью (3) и разрешим полученное выражение относительно скорости детали $V'_{дет}$:

$$V'_{дет} = [(tg \gamma \cdot k \cdot V_{кр}) \cdot (1 - \eta) / 9b] \cdot \{ \bar{X} / [1/2 + (1/4 + 2\sigma_{сж} \cdot \bar{X}/a)^{1/2}] \}^3. \quad (16)$$

Определим производительность обработки $Q = V'_{дет} \cdot F$, где F – площадь поперечного сечения обрабатываемого образца, m^2 . Для этого преобразуем зависимость (16) с учетом известных, приведенных выше, соотношений [13]: $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}$; $k = 3m \cdot (1 - \varepsilon) / (200\pi \cdot \bar{X}^2)$, где $(1 - \varepsilon)$ – коэффициент, определяющий степень выступания зерен над уровнем связки:

$$Q = [(tg \gamma \cdot k \cdot V_{кр}) \cdot (1 - \eta) \cdot F / 600\pi] \cdot \{ 1 / [1/2 + (1/4 + 2\sigma_{сж} \cdot \bar{X}/a)^{1/2}] \}^3. \quad (17)$$

Как следует из зависимости (17), увеличить производительность обработки Q можно увеличением параметров m , $V_{кр}$, F и уменьшением безразмерного коэффициента η .

Данное решение получено для случая $H = b$. В реальных условиях шлифования параметр H всегда меньше максимальной высоты выступания режущих зерен над уровнем связки круга b на величину, равную высоте межзеренного пространства круга Δ , занимаемого образующимися стружками и другими продуктами обработки.

Для того чтобы учесть указанную высоту, необходимо рассматривать вместо величины \bar{X} величину $\bar{X} - \Delta$. Очевидно, это приведет к уменьшению параметра H . Однако, не столь значительно, т.к. $\bar{X} \gg \Delta$. Поэтому можно считать, что параметр H , скорость детали $V'_{дет}$ и соответственно производительность обработки Q обусловлены устойчивостью зерен в связке, определяемой прочностными свойствами связки круга и обрабатываемого материала.

Следует отметить, что данный вывод справедлив для случая, когда в механизме износа круга преобладает выпадение зерен из связки без их объемного разрушения. В случае, когда в механизме износа круга преобладает объемное разрушение зерен и их последующее выпадение из связки, параметры H и H_{max} будут определяться зависимостями (8) и (9).

В этих зависимостях радиальную составляющую силы резания P_{y1} , действующую на максимально выступающее из связки зерно, необходимо рассматривать равной предельной силе, при которой происходит объемное разрушение (раздавливание) алмазного зерна.

Выводы. Полученные выражения шероховатости и производительности, основанные на аналитической методологии Ф. В. Новикова и А. В. Якимова [5, 6, 8, 10], связывают эти важнейшие выходные показатели механической обработки шлифованием с высотными параметрами режущего рельефа круга. Использование этих зависимостей на практике ориентировано на процессы обработки с возможностью обеспечения устойчивости параметров рельефа инструмента – АИШ с управлением электрическими режимами эрозионного разрушения связки круга электрическими разрядами, согласованного с контактным износом режущих зерен. На основании полученных зерен аналитических результатов в таких условиях возможно принимать обоснованные технологические решения для выполнения конкретных производственных задач.

Автор благодарит Ф. В. Новикова за обсуждение, советы и комментарии.

Список использованных источников: 1. Беззубенко, Н. К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты / Н. К. Беззубенко; Харьк. гос. политехн. ун-т. – Харьков, 1996. – 468 с. 2. Гуцаленко, Ю. Г. Обрабатываемость материалов различными способами шлифования / Ю. Г. Гуцаленко // Вестник НТУ «ХПИ». – 2001. – Вып. 11. – С. 127-131. 3. Гуцаленко, Ю. Г. Энергоёмкость алмазного шлифования наплавки кругами на металлической связке / Ю. Г. Гуцаленко, М. В. Буренков // Резание и инструмент в технологических системах. – 2001. – Вып. 59. – С. 45-51. 4. Беззубенко, М. К. Алмазно-искровое шлифование наплавки валков прокатных станин: досвід і перспективи / М. К. Беззубенко, Ю. Г. Гуцаленко, В. А. Рибицький, О. Г. Гуцаленко. – Спец. наук.-техн. інформ. вип. : Міжнародна виставка „Алмаз-2001”, 4-6 липня 2001 р., м. Київ. – Х. : НТУ „ХПІ”, 2001. – 5 с. – Рос. мовою. 5. Качество обработки деталей машин // Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Т. 6. – Одесса : ОНПУ, 2003. – 716 с. 6. Проектирование технологических процессов в машиностроении // Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Т. 9. – Одесса : ОНПУ, 2005. – 584 с. 7. Разработка технических решений специальной модернизации универсальных станков и технологических баз данных для алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых материалов: Отчет о НИР (заключит.) / Нац. техн. ун-т «Харк. политехн. ин-т»; рук. А. Грабченко, отв. исп. Ю. Гуцаленко. – Харьков, 2014. – 518 с. – № ГР 0113U000425. – Инв. № 0215U001303. 8. Якимов, А. В. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, Б. С. Серов, А. А. Якимов. – Одесса : ОГПУ, 1999. – 450 с. 9. Гуцаленко, Ю. Г. Взаимосвязь параметров режущего рельефа алмазного круга с шероховатостью и производительностью обработки при устойчивом шлифовании / Ю. Г. Гуцаленко // Сучасні системи технологій у машинобудуванні : Зб. наук. праць, присвяч. 90-річчю з дня народж. професора Одес. нац. політехн. ун-ту Якимова О. В. – Дніпропетровськ : Ліра, 2015. – С. 128-133. 10. Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов // Физико-математическая теория процессов обработки материалов и

технологии машиностроения / Под общ. ред. *Ф. В. Новикова и А. В. Якимова*. В десяти томах. – Т. 4. – Одесса : ОНПУ, 2002. – 802 с. **11.** *Новиков, Ф. В.* Формирование рабочей поверхности алмазного круга в процессе шлифования / *Ф. В. Новиков, Ю. Г. Гуцаленко* // *Вісн. Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т»* : 3б. наук. пр. Тем. вип. : Технології в машинобудуванні. –2002. – № 9, т. 10. – С. 115-120. **12.** *Новиков, Ф. В.* Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования : Дис... д-ра техн. наук : 05.02.08 – технология машиностроения; 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты / *Ф. В. Новиков*; Харьковское НПО «Прогресс»; Одес. гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 438 с. **13.** Абразивная и алмазная обработка материалов : Справочник / Под ред. *А. Н. Резникова*. – М. : Машиностроение, 1977. – 390 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Bezzubenko, N. K. Povyshenie jeffektivnosti almaznogo shlifovaniya putem vvedeniya v zonu obrabotki dopolnitel'noj jenerгии в форме jelektricheskikh razrjadov. Dys. ... d-ra tehn. nauk. Kharkov, 1996. Print. **2.** Gutsalenko, Yu. G. "Obrabatyvaemost' materialov razlichnymi sposobami shlifovaniya". Visnyk NTU "KhPI". 2001. Iss. 11. Print. **3.** Gutsalenko, Yu. G. "Jenergojomkost' almaznogo shlifovaniya naplavki krugami na metallicheskoj svjazke" Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. Iss. 59 (2001). Print. **4.** Bezzubenko, M. K., et al. Almazno-iskrove shlifuvannya naplavoek valkiv prokatnih staniv: dosvid i perspektivi. Spec. nauk.-tehn. inform. vip.: Mizhnarodna vistavka „Almaz-2001”. 4th-6th Jule 2001, Kiev. Kharkov: NTU "KhPI", 2001. Print. **5.** Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroeniya. 10 vols. Vol. 6: Kachestvo obrabotki detalej mashin. Ed. by F. V. Novikov and A. V. Jakimov. Odessa: ONPU, 2003. Print. **6.** Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroeniya. 10 vols. Vol. 9: Proektirovanie tehnologicheskikh processov v mashinostroenii. Ed. by F. V. Novikov and A. V. Jakimov. Odessa: ONPU, 2005. Print. **7.** Razrabotka tehniceskikh reshenij special'noj modernizacii universal'nyh stankov i tehnologicheskikh baz dannyh dlja almazno-iskrovogo shlifovaniya trudnoobrabatyvaemyh materialov. Otchet o NIR. No. GR 0113U000425. Inv. No. 0215U001303. Ruk. A. Grabchenko, otv. isp. Yu. Gutsalenko. Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst." Kharkov, 2014. 518 p. Print. **8.** Jakimov, A. V., et al. Teoreticheskie osnovy rezaniya i shlifovaniya materialov: Ucheb. posobie. Odessa: OGPU, 1999. Print. **9.** Gutsalenko, Yu. G. "Vzaimosvjaz' parametrov rezhushhego rel'efa almaznogo kruga s sherohovatost'ju i proizvoditel'nost'ju obrabotki pri ustojchivom shlifovanii". Suchasni sistemi tehnologij u mashinobuduvanni: Zb. nauk. prac', prisyvjach. 90-richchju z dnja narodzh. profesora Odes. nac. politehn. un-tu Jakimova O. V. Dnipropetrovsk: Jlipa, 2015. Print. **10.** Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroeniya. 10 vols. Vol. 4: Teorija abrazivnoj i almazno-abrazivnoj obrabotki materialov. Ed. by F. V. Novikov and A. V. Jakimov. Odessa: ONPU, 2002. Print. **11.** Novikov, F. V. and Yu. G. Gutsalenko. "Formirovanie rabochej poverhnosti almaznogo kruga v processe shlifovaniya". Visn. Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst.": Zb. nauk. pr. Tem. vip.: Tehnologії v mashinobuduvanni. 2002. No. 9, Vol. 10. Print. **12.** Novikov, F. V. Fizicheskie i kinematicheskie osnovy vysokoproizvoditel'nogo almaznogo shlifovaniya. Dys. ... d-ra tehn. nauk. Odessa, 1995. Print. **13.** Abrazivnaja i almaznaja obrabotka materialov: Spravochnik. Ed. A. N. Reznikov. Moscow: Mashinostroenie, 1977. Print.

Поступила в редколлегию 15.06.2015